

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за результатами
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

«СУЧАСНІ АСПЕКТИ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ»

*присвячений 50-ти річчю
кафедри електромеханіки і автоматики
Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ*

Покровськ, 2017

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ (протокол № 7 від 22.03.2017 р.)

Збірник наукових праць за результатами всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв», Індустріальний інститут ДВНЗ ДонНТУ, 11-12 квітня 2017 року. - 393 с.

Збірник містить матеріали, в яких розглянуті питання актуальних проблем механізації і автоматизації енергоємних виробництв, розробки корисних копалин та охорони праці, соціально-економічного та наукового розвитку регіонів України.

Збірник розрахований на наукових співробітників, викладачів, інженерно-технічних працівників, а також аспірантів і студентів вищих навчальних закладів України.

Почесні члени організаційного комітету:

Ляшок Я. О. – виконуючий обов'язки ректора ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, д-р екон. наук

Шевчук С. П. – завідувач кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, д-р техн. наук, професор

Самуся В. І. – завідувач кафедри гірничої механіки, Національний гірничий університет, м.Дніпро, д-р техн. наук, професор

Лапшин О. Є. – професор кафедри рудникової аерології та охорони праці, ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, д-р техн. наук, професор

Семенченко А. К. – професор кафедри гірничі машини і мехатронні системи машинобудування, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, д-р техн. наук, професор.

Організаційний комітет:

Придятько С. П. (*голова оргкомітету*) – виконуючий обов'язки директора Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, канд. хім. наук, доцент

Сивокобиленко В. Ф. (*заступник голови*) – завідувач кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, д-р техн. наук, професор

Петелін Е. А. (*заступник голови*) – декан факультету технології і організації виробництва, доцент кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, канд. техн. наук, доцент

Зінов'єв С. М. (*заступник голови*) – доцент кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, канд. техн. наук, доцент

Алтухова Т. В. (*секретар конференції*) – асистент кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ

Члени організаційного комітету

Гого В. Б. – професор кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, д-р техн. наук, професор

Калиниченко В. В. – завідувач кафедри інженерної механіки Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, канд. техн. наук

Несторук Н. А. – доцент кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, канд. пед. наук

Пуханов О. О. – старший викладач кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ, канд. екон. наук

Нємцев Е. М. – старший викладач кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ

Придятько І. В. - старший викладач кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ

Гончарова В. М. – асистент кафедри електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ.

Редакційна колегія повідомляє, що автори публікацій несуть відповідальність за достовірність поданої інформації, зміст матеріалів, їх мовно-стилістичне оформлення.

Механіка, енергетика та автоматизація виробництв

Андренко П. М., Лебедєв А. Ю. ВРАХУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ РІДИНИ ПРИ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАБІРИТНО-ГВИНТОВИХ НАСОСІВ	8
Артеменко Ю. А., Любименко О. М., Деркач О. О. СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ І ТЕПЛОВІ ВТРАТИ ЧЕРЕЗ ЗОВНІШНЄ ОГОРОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА	14
Васюченко П. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ПРИ РОБОТІ НА АВТОНОМНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ	18
Водічев В. А., Алдаїрі Алі РЕГУЛЯТОР ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДУ ПОДАЧІ	23
Гого В. Б., Сыроватченко В. А. ФАКТОРЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОЁМКИХ ПРОИЗВОДСТВ	29
Дзержинська О. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ КРОКУЮЧОГО КРИВОШИПНО-ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ НА ДРАГЛАЙНІ	32
Зінов'єв С. М., Несторук Н. А., Придятько І. В., Скрипник С. А. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВОДОВІДЛИВУ В ГІРНИЧІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ УТАС	37
Зінов'єв С. М., Придятько І. В., Петрова Н. А. АНАЛІЗ РУЙНУВАНЬ ШАХТНИХ КОПРІВ, ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ	43
Зінов'єв С. М., Придятько І. В., Рева О. О., Пономарьов С. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ГАЛЬМ У ПІДЙОМНОМУ ОБЛАДНАННІ	48
Ильин С. Р., Олейник Е. С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЯЮЩЕГО ШКИВА БАРАБАННОГО ТИПА С УПРУГОЙ ФУТЕРОВКОЙ ВЕДУЩИХ ЖЕЛОБОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАТЯЖЕНИЙ КАНАТОВ МНОГОКАНАТНОЙ ПОДЪЁМНОЙ УСТАНОВКИ	53
Ильин С. Р., Василькевич В. И., Дубинин М. В. ПРОБЛЕМЫ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ БАШМАКОВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ С ЦЕЛЬНОКАТАНЫМИ КОРОБЧАТЫМИ ПРОВОДНИКАМИ ЖЕСТКОЙ АРМИРОВКИ СТВОЛОВ	60
Калиниченко В. В., Михайленко О. В. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕРЛІФТНИХ УСТАНОВОК	68
Ковалевський С. В., Залужна Г. В., Владіміров Е. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ШАРНІРНИХ СИСТЕМ МАШИН ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ	73
Колларов О. Ю., Остренко Д. О. РОБОТА ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯМ ВІД АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ	80

Коломиец Л. В., Лимаренко А. М., Лимаренко А. С. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ВЕСОВЫХ УСТРОЙСТВ	84
Кондратенко В. Г., Гайдук В. Д. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК	88
Крупко В. Г., Дорохов М. Ю. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДІВ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ ЕКСКАВАТОРІВ З ПУЛЬСУЮЧИМ РУХОМ РОБОЧОГО ОРГАНА	94
Фідровська Н. М., Ломакін А. О. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕННЯ В ДРОТИНІ КАНАТУ ПРИ НАБІГАННІ НА БЛОКИ І БАРАБАНИ	102
Любищенко Е. Н. , Митин В. И. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ РАСХОДА ПАРА НА ТЭС В ТУРБИНЕ К 50-90 ПРИ ВВЕДЕНИИ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ	106
Мінтус А. М., Куценко С. О. СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПЕЧІ ВІДПАЛУ СКЛОВИРОБІВ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ	110
Нємцев Е. М., Євтушенко Д. Д. ОПТИМІЗАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗА ПРИНЦИПОМ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СУМІСНОСТІ ПРОЦЕСУ	116
Нємцев Е. М., Калінський О. П. РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОПОМІЖНОГО ВОДОВІДЛИВУ ПОХИЛУ	120
Несторук Н. А., Михайлов О. І. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ, ЯК ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	125
Несторук Н. А., Чухно Р. А. АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПУТЁМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	129
Сергієнко О. І., Гавенко О. В. РОЗРОБКА ПЕРЕСУВНОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ДЕГАЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ	133
Сергієнко Л. В., Гавенко О. В. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕСУВНОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ДЕГАЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ	138
Сергиенко Л. Г., Чухно Р. А. АНАЛИЗ РАБОТЫ СОВРЕМЕННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	142
Сивокобилєнко В. Ф., Запорожченко В. В. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИБОКОПАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	147
Чашко М. В. ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧЕСТВА ВИБРАЦИЕЙ	151
Чашко М. В., Близнюк Є. В. ВИБІР АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДПРЕМСТВА	155
Чашко М. В., Евдокимов А. Н. РАЗРУШЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ	159

Чашко М. В., Сергієнко Л. Г., Алтухова Т.В., Кудлатий Є. В. ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ	163
Чашко М. В., Симивол В. А. ВНЕДРЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ГОРНУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	169
Чернишев В. І. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ГІРНИЧИХ МАШИН	173
Чернишев В. І., Більмак Т. С. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	179
Чикунів П. О. РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ЗАСВОЄННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ	183

Геометричне та комп'ютерне моделювання об'єктів, явищ, процесів і технологій

Владимиров Э. А., Залужная Г. В., Ковалевский С. В. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО РАСЧЁТА РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ БЕЗ УЧЁТА И С УЧЁТОМ ТРЕНИЯ	188
Зінов'єв С. М., Придятько І.В., Гончарова В. М., Шульженко В.В. РІШЕННЯ КОНТАКТНОЇ ЗАДАЧІ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ РІЗЕЦЬ-РІЗЦЕТРИМАЧ-МАСИВ	195
Зінов'єв С.М., Чашко М.В., Близнюк Є.В., Козій І.А. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ В ОКОЛИЦЯХ ПОВЕРХНЕВОГО КОМПЛЕКСУ ШАХТИ	202
Колларов О. Ю., Зіненко М. В. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЙ БАГАТОВИМІРНИХ СИСТЕМ ОРТОГОНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ	208
Колларов О. Ю., Зіненко М. В. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ САМОЗАПУСКУ СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕС	213
Колларов О. Ю., Придятько І.В., Пупченко А.І., Єрмишев В. А. БЕЗТРАНСФОРМАТОРНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	220
Крупко І.В. МОДЕЛЮВАННЯ КРОКУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕСУВАННЯ ПОТУЖНИХ ЕКСКАВАТОРІВ	225
Куцерубов В.М., Панасенко Є.В. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ	232
Нелюба Д.М. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕКОНОМАЙЗЕРА ПАРОВОГО КОТЛА	235
Сивокобиленко В. Ф., Запорожченко В. В. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ПУСКА СИНХРОННОГО ДВИГУНА	241
Сидоров А.А., Малтыз С. С. СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С РКТ	246

Сільвестров А.М., Гонтар М.М. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ШУМІВ У СИГНАЛІ	251
Устенко С. А. ПОБУДОВА ПЛОСКОЇ КРИВОЇ ІЗ ПАРАБОЛІЧНИМ РОЗПОДІЛОМ КРИВИНИ НА ОБМЕЖЕНІЙ ПЛОЩИНІ	258
Чашко М. В., Зінов'єв С.М., Шитець Д. І., Пупченко В.І. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ ГЕНЕРАЦІЇ	264
Чашко М. В., Колларов О.Ю., Зінов'єв С.М., Мазур Д. Є. ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА	268
Шефер О. В. СУЧАСНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ЗАВАДОСТІЙКОГО ЗВ'ЯЗКУ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ РАДІОХВИЛЬ ІЗ ІОНІЗОВАНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ	272

Геомеханічні проблеми розробки корисних копалин та охорона праці

Гого В. Б., Сироватченко В. О., Михайлов О. І. ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ БОРОТЬБИ З ПИЛОМ ДЛЯ СУЧАСНИХ ГІРНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ	276
Зінов'єв С. М., Гончарова В. М., Соболев Є. А., Славінський В. О. ВПЛИВ ПОЧАТКОВОГО РОЗПОРУ НА ВЗАЄМОДІЮ З БОКОВИМИ ПОРОДАМИ	283
Кодунов Б.А. ЗАКОНОМЕРНОСТІ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ПЕРЕГИБА КРИВОЙ ОСЕДАНИЙ	288
Куцерубов В.М., Хейло А.О. ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ІНІЦІЮВАННЯ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ЛІНІЙНИМИ ІНІЦІАТОРАМИ НА МОДЕЛЯХ З ОПТИЧНО АКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ	294
Нестеренко В.Н., Богданова О.Н. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ ПОРОД И ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ	297
Парфенюк О. С., Довгаль Ю. С. ПОЛІПШЕННЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ГІРНИЧОЇ МАСИ ПРИ РУЙНУВАННІ МАСИВУ ВИКОНАВЧИМИ ОРГАНАМИ ГІРНИЧИХ МАШИН	305
Петелін Е.А. ПРО СУМІСНІСТЬ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН І ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА КРИТЕРІЄМ РАЦІОНАЛЬНОГО ЕНЕРГОНАСИЧЕННЯ	312
Пуханов О. О., Михайлов О. І. МЕТОДИ УСУНЕННЯ НЕДОЛІКІВ В РОБОТІ ШАХТНИХ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ	318
Сергієнко О.І., Вербна Т.П. РАЦІОНАЛЬНІ УМОВИ РОЗТАШУВАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК	322
Сергієнко О.І., Жук Д.В. РОЗПОДІЛ ДЖЕРЕЛ МЕТАНОВИДІЛЕННЯ ПО ЗОНАМ СИСТЕМ АЕРОДИНАМІЧНО ЗВ'ЯЗАНИХ ТРІЩИН (САЗТ) НА ПРИКЛАДІ ШАХТИ «КАПІТАЛЬНА»	328

**Соціальні, економічні, організаційні та науково-педагогічні
аспекти роботи виробництв**

Зубенко Ю. Д., Бильмак Т. С. ОСОБЕННОСТИ МЕНЕДЖМЕНТА НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО РАЗВИТИЯ	333
Медяник В. Ю. КРЕАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ НОВИХ ГОРИЗОНТІВ ГАЗОВУГІЛЬНИХ ШАХТ	339
Моїсєєнко Л. М. КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ЯК УМОВА ЗБАЛАНСОВАНОГО СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ КРАЇНИ	349
Несторук Н. А. ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ В МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ- ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ ФАХОВО ЗНАЧУЩИХ УМІНЬ ЗАСОБАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	354
Поліщук Н. О., Михалко М. П., Міщишин Д. К. ДОСЛІДЖЕННЯ СОЦІАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ НА РЕГІОНАЛЬНИХ РИНКАХ ПРАЦІ	359
Пуханов А. А., Пуханова Л. С. МЕТОДЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ТЭК НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЛИНГА	365
Самофалова Т. В., Самофалов В. В. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВОДА И РАБОТА СТУДЕНТОВ С АНГЛИЙСКИМИ ТЕКСТАМИ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ	371
Сергієнко Л. Г. ПРОФЕСІЙНО-ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ НАВЧАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИМ ДИСЦИПЛІНАМ У ВИЩОМУ ТЕХНІЧНОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ	374
Сергієнко Л. Г., Бильмак Т. С. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ В ДИНАМІЧНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ І ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ	379
Цимбал О. Ю. СИСТЕМНІ АСПЕКТИ В УПРАВЛІННІ ПІДГОТОВКОЮ ФАХІВЦЯ ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	384
	389

УДК 519.654:621.391.82

А.М. Сільвестров (докт. техн. наук, професор)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

М.М. Гонтар

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ШУМІВ У СИГНАЛІ

Анотація: У цій статті, беручи метод найменших квадратів (МНК) як базовий при обробці зашумлених сигналів розглядаємо вплив співвідношення сигнал-шум на зміщення оцінок реальних даних. Також було розглянуто узагальнений метод найменших квадратів

(УМНК) для зважених (відфільтрованих) даних. Показано, що для кожних конкретних випадків існує оптимальне значення згладжуючого ефекту фільтра, за якого норма зміщення буде мінімальною. Отримано, що чим далі рознесені спектри сигналу і перешкоди, тим краще оцінки квазіоптимального УМНК.

Ключові слова: метод найменших квадратів, зміщення оцінок, згладжуючий фільтр, зважені дані, спектри сигналу і перешкоди.

Аналіз попередніх досліджень. Природа перешкод полягає в випадковій зміні параметрів каналу передачі [1]. При передачі сигнал піддається спотворенням внаслідок того, що коефіцієнт передачі каналу не є постійним числом; властивості каналу описуються частотними або часовими характеристиками, що визначають так звані лінійні спотворення. Крім того, канал може вносити і нелінійні спотворення, обумовлені нелінійністю тих чи інших ланок каналу.

Як лінійні, так і нелінійні спотворення обумовлені відомими характеристиками каналу, а тому, принаймні, можуть бути усунені шляхом належної корекції. Тому спотворення слід чітко відокремити від дії перешкоди випадкового характеру, яка заздалегідь не може бути відома.

Якщо ж коефіцієнт передачі каналу зазнає випадкової зміни, то вплив цих змін слід вже розглядати як дію випадкової перешкоди, яка і є мультиплікованою перешкодою.

Постановка проблеми. Практична постановка задачі містить в собі суттєву долю невизначеності статистичних властивостей перешкод у вимірах як вхідних X , так і вихідних Y даних про об'єкт, що досліджується, модель якого може бути представлено як

$$Y^* = X^* \beta^* + \varepsilon^*, \quad (1)$$

де Y^* , X^* , ε^* – точні значення змінних виходу, входу і розузгодження, за умови, що оцінку β^* для цих значень отримано за методом найменших квадратів [3]:

$$\beta^* = (X^{*T} X^*)^{-1} X^{*T} \cdot Y^* = C^* Y^*, \quad (X^{*T} X^*)^{-1} X^{*T} = C^* \quad (2)$$

Тобто, за умови:

$$\beta^* = \arg(\min \varepsilon^{*T} \cdot \varepsilon^*) \quad (3)$$

На практиці МНК-оцінку (2) отримують по збуреним завадами N_x і N_y даним:

$$X = X^* + N_x, \quad Y = Y^* + N_y, \quad (4)$$

де

$$Y^T = [y(1) \ y(2) \dots \ y(M)], \quad x_i(j) = x_i^*(j) + N_{x_i}(j), \quad y_i(j) = y_i^*(j) + N_{y_i}(j), \quad j = \overline{1, M}.$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_2(1) \dots x_i(1) \dots x_n(1) \\ x_1(2) & x_2(1) \dots x_i(2) \dots x_n(2) \\ \text{-----} \\ x_1(M) & x_2(M) \dots x_i(M) \dots x_n(M) \end{bmatrix},$$

Тоді МНК-оцінка (2) $\hat{\beta}$ вектора β^* знаходиться з умови (3), але вже для реальних даних (4) у звичайній

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y = C \cdot Y, \quad C = (X^T X)^{-1} X^T, \quad (5)$$

або у рекурентній

$$\begin{aligned}\hat{\beta}(j+1) &= \hat{\beta}(j) + P(j+1)X(j)[Y(j) - X^T(j) \cdot \hat{\beta}(j)], \\ P(j+1) &= P(j) - P(j)X(j)[X^T(j)P(j)X(j)+1]^{-1} \cdot X^T(j) \cdot P(j),\end{aligned}\quad (6)$$

формах з початковими умовами $P(0)$, $\hat{\beta}(0)$. Якщо останні невідомі, то приймають, що $\hat{\beta}(0) = 0$, $P(0) = \sigma_{\beta(0)}^2 \cdot I$, $\sigma_{\beta(0)}^2 \rightarrow \infty$.

Основний матеріал. Покладемо для спрощення аналізу, що перешкоди N_x і N_y – «білі шуми» Гауса, відповідно авто- і взаємо-некорельовані. Визначимо зсув $\Delta\hat{\beta}$ оцінки (5) відносно точної оцінки (2):

$$\begin{aligned}\Delta\hat{\beta} &= M\{\hat{\beta}\} - \beta^* = M\{[C^* + \delta C(N)] \cdot [Y^* + \varepsilon^* + N_y]\} - \beta^* = M\{[C^* + \delta C(N)] \cdot Y^*\} - \beta^* = \\ &= M\{C^* + \delta C(N)\} \cdot Y^* - \beta^* \cong [X^{*T} X^* + M\{N_x^T N_x\}]^{-1} \cdot X^{*T} Y^* - \beta^* = \\ &= [X^{*T} X^* + \text{diag} \sigma_i^2 \cdot M \cdot I]^{-1} \cdot X^{*T} \cdot Y^* - \beta^*.\end{aligned}\quad (7)$$

Позначимо $X^{*T} X^* = A^*$, $M\{N_x^T N_x\} = \delta A$, $X^{*T} Y^* = B^*$. Тоді (2) і (7) дорівнюють відповідно: $A^* \beta^* = B^*$, $[A^* + \delta A] \hat{\beta} = B^*$. Звідси

$$\begin{aligned}\delta A \cdot \hat{\beta} &= -A^* (\hat{\beta} - \beta^*) = -A^* \Delta\hat{\beta}, \\ \text{тобто } \delta A (\beta^* + \Delta\hat{\beta}) &= -A^* \Delta\hat{\beta}, \text{ або} \\ \Delta\hat{\beta} &= -(A^* + \delta A)^{-1} \cdot \delta A \cdot \beta^*\end{aligned}\quad (8)$$

Як бачимо, оцінка $\hat{\beta}$ за умов навіть некорельованих «білих шумів» N_x і N_y , буде занижена відносно істинної β^* на величину (8). Остання, за умови, що норма $\|\delta A\| \rightarrow 0$, прямує до нуля, а $\hat{\beta}$ до β^* ; за умови, що норма $\|\delta A\| \rightarrow \infty$, прямує до $-\beta^*$, а $\hat{\beta}$ – до нуля.

Коваріація оцінки (5) за приведених вище умов, та приймаючи, що норма $\|N_x^T \cdot \varepsilon\|$ набагато менше, ніж $\|X^{*T} \cdot \varepsilon\|$ або $\|N_x^T \cdot Y^*\|$, наближено дорівнює:

$$\text{cov}[\hat{\beta}] \cong M\{[C_1 \cdot \varepsilon + C_2 N_x] \cdot [C_1 \cdot \varepsilon + C_2 N_x]^T\} = C_1 \cdot M\{\varepsilon \cdot \varepsilon^T\} \cdot C_1^T + C_2 \cdot M\{N_x N_x^T\} \cdot C_2^T, \quad (9)$$

де

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon^* + N_y, \\ C_1 &= [X^{*T} X^* + M\{N_x N_x^T\}]^{-1} \cdot X^{*T}, \\ C_2 &= [X^{*T} X^* + M\{N_x N_x^T\}]^{-1} \cdot Y^{*T}.\end{aligned}$$

Перша складова виразу (9) зі зростанням рівня N_x зменшується, в другій C_2 зменшується, а $M\{N_x N_x^T\}$ збільшується, але C_2 входить в вираз (9) у квадраті, тоді як $M\{N_x N_x^T\}$ – лінійно. Тому для «білого шуму», коли $M\{N_x N_x^T\} = \sigma_{N_x}^2 \cdot M \cdot I$, зі зростанням σ_{N_x} коваріація оцінки $\hat{\beta}$ буде зменшуватись. Таким чином МНК має властивість до регуляризації системи нормальних рівнянь, подібно до Тихонівської [1]. Остання полягає в мінімізації звичайного квадратичного функціоналу $I = \varepsilon^T \varepsilon$ з регуляризуючою добавкою $\alpha \hat{\beta}^T \hat{\beta}$, де α – параметр регуляризації (10).

Співставивши (7) і (10) бачимо, що в МНК параметр Тихонова дорівнює $\text{diag} \sigma_i^2 \cdot M$.

Графічну залежність нормованих величин $\frac{\|\hat{\beta}\|}{\|\beta^*\|}$ та $\frac{\|\text{cov}\hat{\beta}\|}{\|\text{cov}\beta^*\|}$ (крива а), та $\frac{\|\Delta\hat{\beta}\|}{\|\beta^*\|}$ (крива б)

наведено на рис. 1.

$$\begin{aligned} I &= \varepsilon^T \varepsilon = (Y - X^* \hat{\beta})^T (Y - X^* \hat{\beta}) + \alpha \hat{\beta}^T \hat{\beta}, \\ \frac{\partial I}{\partial \hat{\beta}} &= 0 = 2(X^{*T} X^* \hat{\beta} - X^{*T} Y + \alpha \hat{\beta}), \\ \hat{\beta} &= (X^{*T} X^* + \alpha \cdot I)^{-1} \cdot X^{*T} \cdot Y. \end{aligned} \quad (10)$$

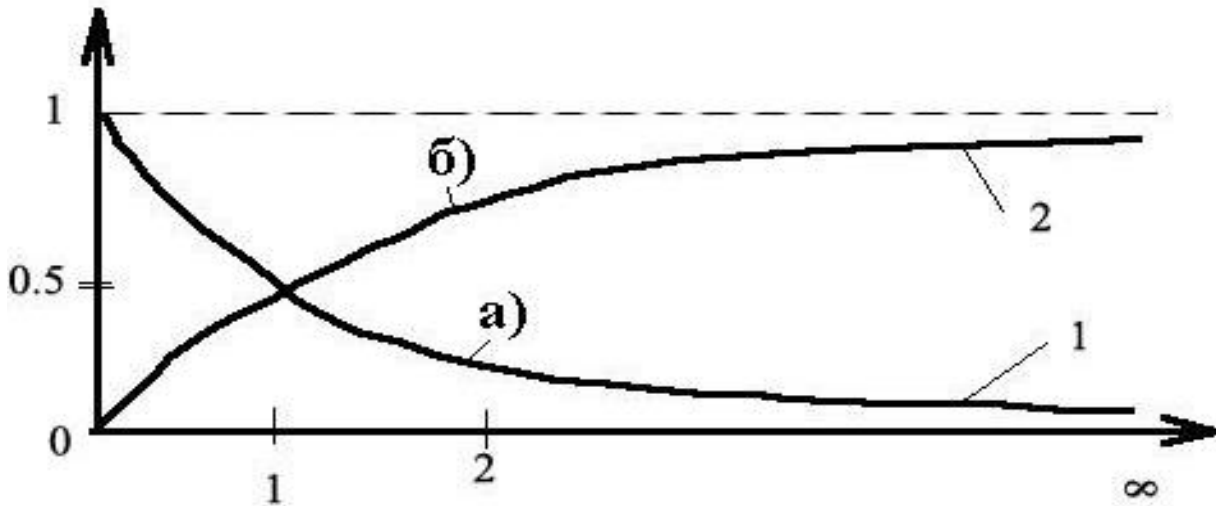


Рисунок 1 - Залежність зсуву і коваріації МНК-оцінки від співвідношення «шум-сигнал» в X

Перейдемо до узагальненого МНК та його практичної реалізації. В цьому методі відшукуються МНК-оцінки за зваженими (відфільтрованими) даними:

$$\hat{X} = U^{-1}X, \quad \hat{Y} = U^{-1}Y.$$

Це еквівалентно мінімізації функціоналу

$$I = 0,5 \sum_{j=1}^M \|y(j) - x(j) \cdot \hat{\beta}\|^2 \cdot Q^{-1}, \quad (11)$$

де Q – матриця ваги кожного j - го виміру:

$$Q = (\text{cov} \hat{\beta}) \cdot U^T.$$

Тоді зважена вагою Q^{-1} оцінка узагальненого МНК (УМНК), отримана за умови мінімуму (11), дорівнює:

$$\hat{\beta} = (X^T Q^{-1} X)^{-1} \cdot X^T Q^{-1} Y. \quad (12)$$

Коваріація оцінки (12):

$$\text{cov} \hat{\beta} = (X^T Q^{-1} X)^{-1} X^T Q^{-1} M\{N_y N_y^T\} Q^{-1} X (X^T Q^{-1} X)^{-1} \quad (13)$$

Оцінки (12) мають мінімальну дисперсію за умови, якщо $Q = M\{N_y \cdot N_y^T\}$. Тоді

$$\text{cov} \hat{\beta} = [X^T \cdot M\{N_y N_y^T\} \cdot X]^{-1}. \quad (14)$$

Для некорельованого «білого шуму» в вимірах Y $Q = \sigma_y^2(j) \cdot I$. Тоді рекурентна формула УМНК співпадає зі зваженим МНК:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}(j+1) &= \beta(j) + P(j+1) \cdot X(j) \cdot \frac{1}{\sigma_y^2(j)} \cdot [y(j) - X^T(j) \cdot \beta(j)] \\ P(j+1) &= P(j) - X(j) [X^T(j) \cdot P(j) \cdot X(j) + \sigma_y^2(j)]^{-1} \cdot X^T(j) \cdot P(j). \end{aligned} \quad (15)$$

Неточність визначення чи апріорного задання матриці Q^{-1} призводить до суттєвої втрати оптимальності оцінок (12) чи (15).

Алгоритм не є робастним [5]: статистично незначна неадекватність матриці Q коваріації перешкод N_y , викликана, наприклад, окремими збоями в даних, які утворюють в законі розподілення перешкод N_y так звані «тяжкі хвости» [2], під час оцінювання вектора $\hat{\beta}$ за алгоритмом (12), може привести до суттєвої похибки. Тому в практичній реалізації більш зручним і надійним буде квазіоптимальний УМНК:

– на першому етапі відбувається квазіоптимальне оцінювання сигналів X , Y шляхом згладжування лінійними фільтрами їх зашумлених вибірок $X(j)$, $Y(j)$, $j = \overline{1, M}$;

– на другому – МНК-оцінювання вектора $\hat{\beta}$ по отриманим на першому етапі оцінкам $\hat{X}$ і $\hat{Y}$ точних значень X^* , Y^* сигналів.

Для такого підходу перешкоди N_{x_i} , $i = \overline{1, n}$, N_y можуть бути взаємно корельованими [4]. Окрім того, так як модель (1) лінійна, то, за умови фільтрації всіх змінних $X_i(t)$, $y(t)$ одним фільтром, невідповідність згладжених значень $\hat{X}^*$ і $\hat{Y}^*$ істинним X^* , Y^* не приводить до зміщення оцінки $\hat{\beta}$ відносно β^* . Дійсно знак рівняння в (1) не порушується, якщо на його ліву і праву частину подіяти лінійним оператором фільтра W_Φ :

$$W_\Phi \{Y^*\} = W_\Phi \{X^* \beta^* + \varepsilon^*\} = W_\Phi \{X^*\} \cdot \beta^* + W_\Phi \{\varepsilon^*\} \quad (16)$$

Математичне очікування оцінки $\hat{\beta}$:

$$M\{\hat{\beta}\} = [\hat{X}^{*T} \cdot \hat{X}^* + M\{N_x N_x^T\}]^{-1} \cdot \hat{X}^* \hat{Y}^*. \quad (17)$$

Якщо для спрощення прийняти що $M\{N_x N_x^T\} = \text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\} \cdot I$, а також покласти, що власні числа матриці $(\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1} \cdot \text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\}$ менше одиниці, то вираз $[I + (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1} \cdot \text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\}]^{-1}$ можна представити рядом. Тоді

$$(\hat{X}^{*T} \hat{X}^*) \cdot \hat{\beta} = [I + (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1} \cdot \text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\}]^{-1} \cdot \hat{X}^{*T} \hat{Y}^* \cong [I - (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1} \cdot \text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\}] \cdot \hat{X}^{*T} \hat{Y}^*.$$

Звідси

$$\hat{\beta} \cong (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1} \hat{X}^{*T} \hat{Y}^* - (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-2} \cdot \text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\} \hat{X}^{*T} \hat{Y}^*.$$

Враховуючи, що

$$\hat{\beta} \equiv (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1} \hat{X}^{*T} \hat{Y}^* = (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-2} \hat{X}^{*T} \hat{Y}^*,$$

отримаємо вираз для зсуву:

$$\Delta\hat{\beta} = \hat{\beta} - \beta = -\text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\} \cdot (\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1} \cdot \hat{\beta}^*. \quad (18)$$

Так як норма $\Delta\hat{\beta}$ не більше добутку норм складових правої частини (18), то маємо нерівність:

$$\frac{\|\Delta\hat{\beta}\|}{\|\hat{\beta}^*\|} \leq \|\text{diag}\{\sigma_{N_i}^2\}\| \cdot \|\hat{X}^{*T} \hat{X}^*\|^{-1}. \quad (19)$$

Чим сильніше фільтрація X , Y оператором W_Φ фільтра, тим менше норма матриці збурень $\sigma_{N_i}^2$. Тобто фільтр послабляє перешкоди, не порушуючи рівняння (16). Але згладжування фільтром складових $X_i(t)$ вектор-функції $X(t)$ завужує їх частотні спектри і, як наслідок, зменшує їх лінійну незалежність. Зменшується число обумовленості матриці $(\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)$ і, як наслідок, збільшується норма зворотної матриці $(\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1}$. Якісну картину

залежності нормованих величин $\frac{\|\Delta\hat{\beta}\|}{\|\hat{\beta}^*\|}$ (крива а), $\frac{\|\text{diag}\sigma_{N_i}^2\|}{\|\text{diag}\sigma_{N_i}^2\|}$ (крива б), $\frac{\|(\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1}\|}{\|(X^{*T} X^*)^{-1}\|}$ (крива в), в

функції інерційності τ фільтра W_Φ , для фіксованого співвідношення «шум-сигнал» зображено на рис. 2.

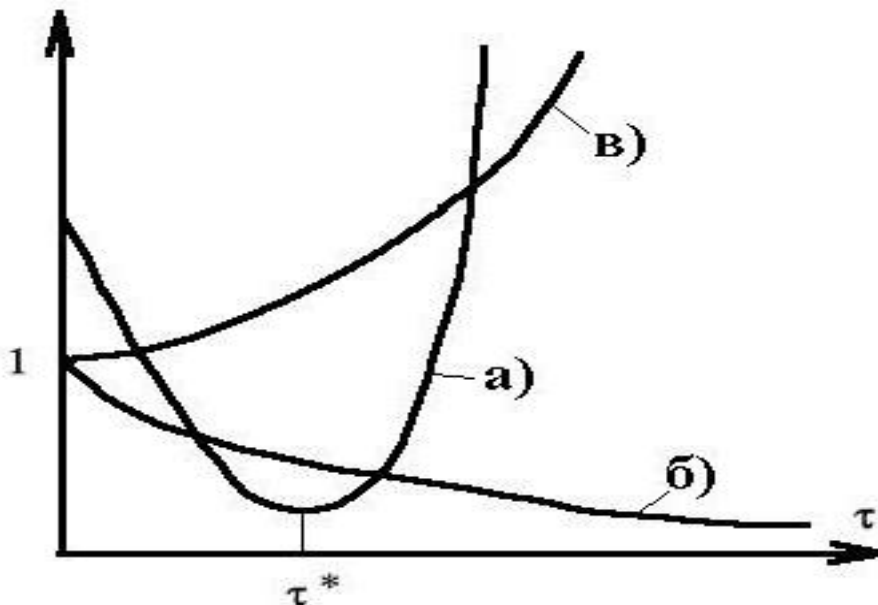


Рисунок 2 - Залежність нормованого зсуву (а), коваріації та перешкод (б) та інформаційної матриці $(\hat{X}^{*T} \hat{X}^*)^{-1}$ від параметра τ інерційності фільтра

Висновки. Як витікає з графіка, для кожних конкретних випадків існує оптимальне значення згладжуючого ефекту фільтра W_Φ , за якого норма зміщення (19) буде мінімальною.

Коваріація оцінки $\hat{\beta}$ за методом УМНК при допущенні взаємо некорельованості перешкод, подібна до МНК (9), але матриці $M\{\varepsilon\varepsilon^T\}$, $M\{N_X N_X^T\}$ вже не діагональні. Чим далі рознесені спектри сигналу і перешкоди, тим краще оцінки квазіоптимального УМНК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Калашников В.В. Сложные системы и методы их анализа. – М.: Знание, 1980. – 64 с.
2. Сільвестров А.М. Розв'язання задачі ідентифікації з допомогою сигнального і параметричного підходів / А. М. Сільвестров, М. М. Гонтар, Д. М. Нелюба // Тези 68-ї наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету, (Полтава, 19 квіт. – 13 трав. 2016 р.) – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – Т. 1. – С. 11-13.
3. Зайцев Г. Ф. Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.
4. Гонтар М.М. Нестійкі нестационарні системи як об'єкти керування та їх ідентифікація / М.М. Гонтар, Д.М. Нелюба // Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика : матеріали II Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф., 17-18 листопада 2016 р., Полтава / Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка [та ін.] – Полтава, 2016. – С. 71-73.
5. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание / Лайонс Р. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007 г. – 656 с.: ил.

А.Н. Сильвестров

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

М.Н. Гонтарь

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПРИ НАЛИЧИИ ШУМОВ В СИГНАЛЕ

Аннотация: В этой статье, принимая метод наименьших квадратов (МНК) в качестве базового при обработке зашумленных сигналов рассматриваем влияние соотношения сигнал-шум на смещение оценок реальных данных. Также были рассмотрены обобщенный метод наименьших квадратов (УМНК) для взвешенных (отфильтрованных) данных. Показано, что для каждого конкретного случая существует оптимальное значение сглаживающего эффекта фильтра, при котором норма смещение будет минимальной. Получено, что чем дальше разнесены спектры сигнала и помех, тем лучше оценки квазиоптимального УМНК.

Ключевые слова: метод наименьших квадратов, смещение оценок, сглаживающий фильтр, взвешенные данные, спектры сигнала и помех.

A. Silvestrov

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

M. Hontar

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

LEAST MEAN SQUARES METHOD APPLY FOR SIGNALS WITH NOISE

Annotation: In this paper, taking the least mean squares (LMS) method as a base when processing noised signals considering influence the signal-to-noise bias in estimates of real data. It was also considered a general least mean squares (GLMS) for weighted (filtered) data. It is shown that in each case there is a filter smoothing effect optimal value in which the displacement rate is minimal. It was found that the farther spaced signal and noise spectra, the better the evaluation of quasioptimal GLMS.

Keywords: least mean squares method, bias estimates, smoothing filter, weighted data, signal and interference spectra.

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за результатами
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

«СУЧАСНІ АСПЕКТИ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ»

*присвячений 50-ти річчю
кафедри електромеханіки і автоматики
Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ*

м. Покровськ, 11 – 12 квітня 2017 р.

Мовою оригіналу

Технічна обробка, комп'ютерний набір, верстка: Несторук Наталя Анатоліївна,
Алтухова Тетяна Володимирівна

Оригінал-макет виготовлено на кафедрі електромеханіки і автоматики
Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ

Підписано до друку 23.03.2017 р.

Формат 60х84^{1/8}

Ум. друк. арк. 49. Тираж 50 прим.

Друк лазерний.

**Надруковано у Видавничому центрі Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ:
85300, Донецька обл., м. Покровськ, площа Шибанкова, 2**